

**Małgorzata MATUSIAK**

INSTYTUT WŁÓKIENICTWA, u. Brzezińska 5/15, 92-103 Łódź

**Badania właściwości termoizolacyjnych tkanin odzieżowych****Dr inż. Małgorzata MATUSIAK**

Dr inż. Małgorzata Matusiak jest adiunktem w Instytucie Włókiennictwa, kierownikiem Zakładu Naukowego Technologii Kompozytów Włókienniczych. Z wykształcenia jest włókiennikiem, specjalistą w zakresie mechanicznej technologii włókna. Główne obszary zainteresowania to przedziałnictwo włókien odcinkowych, metrologia włókiennicza, modelowanie właściwości wyrobów włókienniczych oraz komfort fizjologiczno-termiczny użytkowania tekstyliów.



e-mail: małgorzata.matusiak@iw.lodz.pl

**Streszczenie**

Istnieje wiele metod i przyrządów do oceny termoizolacyjności materiałów włókienniczych. W referacie przedstawiono wyniki badań za pomocą: „modelu skóry”, Alambety, Thermo Labo II i Permetesu właściwości termoizolacyjnych tkanin odzieżowych o programowo zróżnicowanej strukturze. Omówiono zasady działania poszczególnych przyrządów oraz przeprowadzono analizę porównawczą wyników otrzymywanych za pomocą ww. przyrządów pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** komfort termiczny, opór termiczny, tkaniny, pomiary, Permetest, Alambeta, Thermo Labo II.

**Measurements of thermal insulation properties of fabrics****Abstract**

Thermal comfort is an outcome of many factors connected with the human body, climatic conditions of environment and clothing, which is a barrier protecting the human organism against a negative influence of external factors. The influence of the clothing on the heat exchange between the human body and surroundings is very complicated. It depends on many factors such as: air temperature, air movement and humidity. No less important role is played by the raw material as well as the micro- and macrostructure of clothing. There are a lot of properties characterizing the thermal insulation of fabrics. Thermal resistance, water-vapor resistance and air permeability are considered as the most important comfort-related properties of fabrics. Thermal insulation properties of textiles can be assessed by different measurement devices. Sweating guarded – hot plate test (Fig. 1) is commonly known and applied in practice. The method is standardized in Polish Standard [1]. Other devices: Alambeta (Fig. 2), Thermo Labo II and Permetest (Fig. 3) are relatively new and their application is not widespread up till now. In the presented work the measurement of fabrics was taken by means of the sweating guarded hot plate test, Alambeta, Thermo Labo II and Permetest. The woven fabrics of the intentionally changed structure were an object of the investigation. The comparison of the results obtained from the used testing devices was performed in order to assess the agreement between the readings from all instruments (Figs. 4-6).

**Keywords:** thermal comfort, thermal resistance, woven fabrics, measurement, Permetest, Alambeta, Thermo Labo II.

**1. Wprowadzenie**

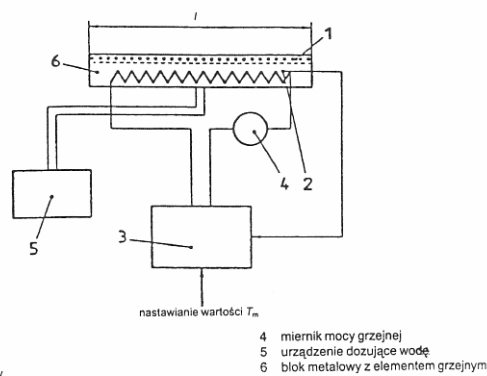
Poczucie komfortu cieplnego jest wypadkową wielu czynników związanych z organizmem człowieka, warunkami klimatycznymi otoczenia oraz odzieżą, będącą barierą chroniącą organizm przed negatywnym wpływem czynników zewnętrznych. Wpływ odzieży na proces wymiany ciepła pomiędzy organizmem człowieka a otoczeniem zależy w dużym stopniu od struktury odzieży, tj. liczby i konfiguracji poszczególnych warstw odzieży, jak również od właściwości termoizolacyjnych materiałów, z których złożona jest odzież.

Do podstawowych właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych zalicza się: opór cieplny, opór przenikania pary wodnej oraz przepuszczalność powietrza (przewiewność).

Istnieje wiele metod i przyrządów do oceny termoizolacyjności materiałów włókienniczych. Najbardziej rozpowszechniony jest tzw. „model skóry”, który pozwala na wyznaczenie oporu termicznego oraz oporu przenikania pary wodnej. Inne przyrządy, takie jak: Alambeta, Thermo Labo II i Permetest, nie są rozpowszechnione, choć obserwuje się wzrastające zainteresowanie nimi, zwłaszcza w badaniach naukowych.

**2. Nowoczesne metody pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych****Metoda polegająca na zaizolowanej cieplnie płycie – „model skóry”**

„Model skóry” jest uznawany i najbardziej rozpowszechnioną metodą pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych [1 - 3]. Dostarcza on informacji o oporze cieplnym  $R_{ct}$  i oporze przenikania pary wodnej  $R_{et}$ . Procedury pomiaru za pomocą „modelu skóry” zostały znormalizowane [1]. Przyrząd symuluje procesy przenikania ciepła i pary wodnej zachodzące w otoczeniu skóry człowieka. „Model skóry” składa się z metalowej płyty grzewczej otoczonej przez warstwę termoizolacyjną przylegającą do metalowego ogrzewanego pierścienia (rys. 1).



1 płyta metalowa  
2 czujnik temperatury  
3 regulator temperatury  
4 miernik mocy grzewczej  
5 urządzenie dozujące wodę  
6 blok metalowy z elementem grzewczym

Rys. 1. Płyta pomiarowa „modelu skóry” z kontrolą temperatury i zasilania wody [1]

Fig. 1. Measuring plate of „skin model” with temperature and water delivery control [1]

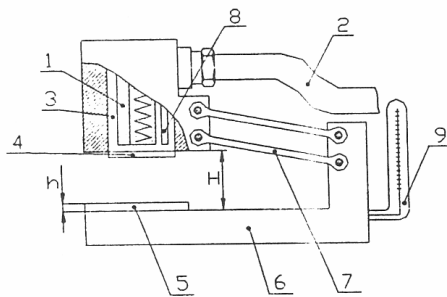
Płyta utrzymywana jest w stałej temperaturze za pomocą systemu kontrolnego. Opór cieplny  $R_{ct}$  jest wielkością określającą przepływ suchego strumienia ciepła przez daną powierzchnię w wyniku utrzymania stałej różnicy temperatur. Podczas pomiaru oporu cieplnego  $R_{ct}$ , utrzymywana jest stała temperatura powietrza wynosząca  $20^{\circ}\text{C}$ , a płyta pomiarowa jest sucha. Najpierw mierzona jest energia dostarczana do płyty grzewczej w celu ogrzania systemu pomiarowego do temperatury  $35^{\circ}\text{C}$ . Następnie próbka ocenianego materiału umieszczana jest na porowatej warstwie płyty pomiarowej i wówczas ponownie mierzona jest energia elektryczna, będąca miarą ciepła przechodzącego przez system na zewnątrz [1].

Opór pary wodnej Ret określa utajony strumień ciepła parowania przepływający przez daną powierzchnię w wyniku utrzymania stałej różnicy ciśnienia pary wodnej. Podczas pomiaru oporu przenikania pary wodnej Ret, zarówno płyta pomiarowa, jak również temperatura powietrza utrzymywane są na poziomie 35°C w celu zapewnienia warunków izotermicznych, jednocześnie warstwa porowata jest w sposób ciągły nawilżana. Energia grzejna mierzona jest dwukrotnie: bez próbki i z próbką. Do wyznaczenia oporu pary wodnej podgrzewana porowata płyta pokryta jest membraną przepuszczającą parę wodną, a nieprzepuszczającą wody. Woda zasilająca ogrzewaną płytę paruje i przechodzi przez membranę w postaci pary, w wyniku czego próbka nie ma bezpośredniego kontaktu z wodą. Przepływ ciepła wymagany do utrzymania stałej temperatury płyty, na której jest umieszczona próbka, jest miarą ilości odparowanej wody, na podstawie której określa się opór pary wodnej badanej próbki.

Badanie za pomocą „modelu skóry” jest rozpowszechnione i znormalizowane. Niemniej jednak istnieją zastrzeżenia odnośnie jakości pomiarów za pomocą tej metody. Wg Hesa [4] wyniki otrzymywane za pomocą „modelu skóry” obarczone są błędem wynikającym z tzw. efektu brzegowego. Ponadto czułość przyrządu jest zbyt mała do oceny różnic ciepłochronności tkanin i dzianin o zbliżonej strukturze. Stwierdzono także, że poszczególne egzemplarze „modelu skóry”, pochodzące od różnych producentów, różnią się między sobą precyzją pomiarów.

### Alambeta

Alambeta jest unikatowym przyrządem pomiarowym, umożliwiającym kompleksową charakterystykę materiałów włókienniczych z punktu widzenia ich termoizolacyjności. Alambeta została opracowana przez prof. L. Hesa z Uniwersytetu Technicznego w Libercu (Czechy).



Rys. 2. Schemat przyrządu ALAMBETA: 1 – głowica grzejna, 2 – przewód zasilania, 3 – element grzewczy, 4 – czujnik przepływu ciepła, 5 – próbka, 6 – płyta metalowa, 7 – prowadniki głowicy, 8 – termometr, 9 – termometr zewnętrzny

Fig. 2. Alambeta testing device: 1 - heating head, 2 - power cable, 3 - heating element, 4 - heat flow sensor, 5 - fabric, 6 - metal plate, 7 - head runner, 8 - thermometer measuring the head temperature, 9 - outer thermometer

Przyrząd mierzy statyczne i dynamiczne właściwości termofizyczne materiałów. Jest to jedyny w świecie przyrząd, który umożliwia równoległe badania materiałów włókienniczych w zakresie 7 wskaźników charakteryzujących ich termoizolacyjność. Są to: przewodność termiczna  $\lambda$ , dyfuzja termiczna  $a$ , absorpcja termiczna  $b$ , opór cieplny  $R$ , iloraz przepływu ciepła maksymalnego i stacjonarnego  $p$ , maksymalna gęstość przepływu ciepła w miejscu kontaktu  $q_{max}$  oraz grubość próbki  $h$  [4 - 6].

Przyrząd jest stosowany głównie w badaniach naukowych. Zaletą przyrządu jest krótki czas pomiaru, możliwość współpracy z komputerem w zakresie monitorowania procesu pomiaru oraz magazynowania i przetwarzania danych. Oprócz wartości mierzonych wskaźników Alambeta dostarcza również informacji na temat podstawowych statystyk charakteryzujących rozrzut wyników.

Schemat przyrządu przedstawiono na rysunku 2. Badanie polega na pomiarze ilości ciepła przepływającego przez próbkę umieszczoną pomiędzy dwiema płytami: górną - podgrzewaną do temperatury 32°C (temperatura zbliżona do temperatury skóry ludzkiej) i dolną – zimną, o temperaturze klimatu normalnego. Badania przeprowadza się w warunkach klimatu normalnego.

Szczególne znaczenie ma możliwość pomiaru za pomocą Alambety absorpcji termicznej zwanej także współczynnikiem przyswajania ciepła przez materiał [7]. Jest to unikatowa cecha materiału, która pozwala ocenić materiał z punktu widzenia odczucia przy dotyku – ciepły/zimny. Możliwość wyznaczania absorpcji termicznej, a tym samym oceny materiałów włókienniczych z punktu widzenia ich chwyty – ciepłego lub zimnego, może być wykorzystana przy ocenie różnych materiałów, które mają bezpośredni kontakt ze skórą człowieka, np. przeznaczone na bieliznę, odzież, pościel, okrycia podłogowe.

### Thermo Labo II

Przyrząd Thermo Labo II jest przeznaczony do pomiaru, w zróżnicowanych warunkach pomiarowych, właściwości termooizolacyjnych materiałów włókienniczych [8, 9]. Za pomocą przyrządu Thermo Labo II wyznacza się: przewodność termiczną  $\lambda$ , maksymalny strumień przepływu ciepła  $q_{max}$ , który charakteryzuje odczucie zimna/ciepła przy dotyku oraz współczynnik utrzymania ciepła HKP (*Insulation Value, Heat Keeping Property*). Pomiaru poszczególnych parametrów przeprowadza się oddzielnie. Każdy z pomiarów trwa kilka (od 2 do 5) minut.

Współczynnik utrzymania ciepła wyznaczany jest w różnych warunkach pomiaru: na sucho, na mokro, przy przyleganiu próbki do płyty grzejnej, przy ułożeniu płyty w niewielkiej stałej odległości (5 mm) od płyty grzejnej, przy prędkości powietrza 0,3 m/s lub 1,0 m/s.

Pomiar na mokro polega na tym, że na płycie grzejnej kładzie się zwilżoną bibułę. Strumień powietrza jest prostopadły do powierzchni próbki i zwrócony ku płycie grzejnej, podczas gdy w „modelu skóry” strumień powietrza jest równoległy do powierzchni płyty grzejnej i mierzonej próbki. Wyznaczanie współczynnika utrzymania ciepła na mokro przeprowadza się poprzez dwukrotny pomiar gęstości strumienia energii cieplnej: bez próbki oraz z próbką. W przypadku pomiaru na sucho - dwukrotnie (bez próbki i z próbką) wyznaczany jest współczynnik przenikania ciepła. Współczynnik utrzymania ciepła wyrażony jest w procentach i obliczany jest jako różnica pomiędzy gęstością strumienia energii cieplnej wyznaczoną bez próbki i z próbką podzielona przez gęstość strumienia energii cieplnej wyznaczoną bez próbki.

### Permetest

Permetest jest to unikatowy przyrząd pomiarowy do badania przepuszczalności pary wodnej oraz oporu cieplnego tekstyliów [10]. Przyrząd, podobnie jak Alambeta, został opracowany przez prof. Hesa. Za pomocą Permetestu wyznacza się: względną przepuszczalność pary wodnej  $P$ , opór przenikania pary wodnej  $R_{et}$  oraz opór cieplny  $R_{ct}$ .

Względna przepuszczalność pary wodnej  $P$  nie jest wskaźnikiem znormalizowanym, ale bardzo praktycznym. Jest wyrażona równaniem:

$$P = 100 \frac{q_v}{q_o} \% \quad (1)$$

gdzie:  $q_o$  - strumień ciepła wyznaczany bez próbki,  $q_v$  - strumień ciepła wyznaczany z próbką.

Opór pary wodnej  $R_{et}$  wyrażony jest wzorem:

$$R_{et} = (P_m - P_a)(q_v^{-1} - q_0^{-1}) \text{ m}^2\text{PaW}^{-1} \quad (2)$$

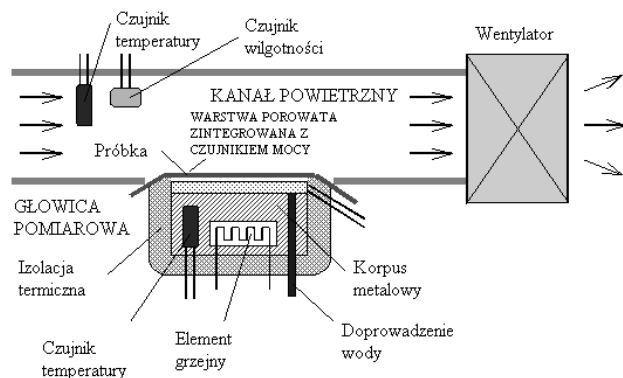
gdzie:  $P_m$  - ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze panującej w kanale powietrznym przyrządu,  $P_a$  - ciśnienie pary wodnej nasyconej w temperaturze otoczenia.

Opór cieplny  $R_{ct}$  wyznaczany za pomocą Permetestu wyrażony jest wzorem:

$$R_{ct} = (t_m - t_0)(q_v^{-1} - q_0^{-1}) \text{ m}^2\text{KW}^{-1} \quad (3)$$

gdzie:  $t_m$  - temperatura powierzchni głowicy pomiarowej,  $t_0$  - temperatura powietrza w kanale pomiarowym,  $q_v$  - gęstość strumienia ciepła przechodzącego przez mierzoną tkaninę,  $q_0$  - gęstość strumienia ciepła przechodzącego z powierzchni głowicy nieprzykrytej tkaniną do powietrza w kanale pomiarowym.

Zasada działania przyrządu zbliżona jest do zasady działania „modelu skóry” i zgodna jest z normą ISO 11092 (rys. 3).



Rys. 3. Schemat przyrządu Permetest  
Fig. 3. Permetest testing device

Permetest symuluje suchą lub wilgotną skórę człowieka z punktu widzenia jej odczuć termicznych.

Na początku pomiaru głowica pomiarowa pokryta jest półprzepuszczalną folią, w celu utrzymania mierzonej próbki w stanie suchym. Wyznaczany jest strumień przepływu powietrza  $q_0$  bez próbki, po czym oceniany wyrób, bez konieczności wycinania próbki, umieszcza się pomiędzy głowicą pomiarową, a dolnym otworem w kanale powietrznym przyrządu i następuje pomiar strumienia przepływu ciepła z próbki –  $q_v$ .

Wartość względnej przepuszczalności pary wodnej  $P = 100\%$  oznacza całkowitą przepuszczalność pary wodnej. Im niższa wartość parametru  $P$ , tym mniejsza przepuszczalność pary wodnej, a tym samym gorszy komfort fizjologiczny użytkownika danego wyrobu.

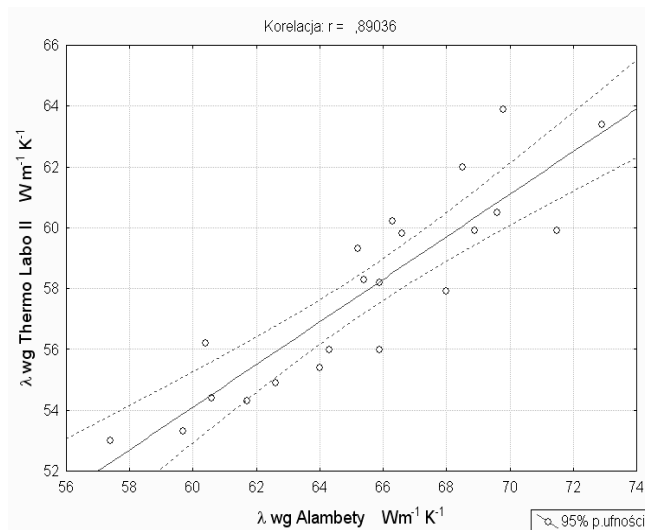
Zaletą przyrządu jest możliwość badań nieniszczących, dzięki czemu Permetest może być stosowany do oceny gotowych wyrobów odzieżowych bez konieczności ich dekompozycji. Inną zaletą jest możliwość wykonania badań w różnych warunkach mikroklimatu, gdyż przyrząd, po odpowiednim skalibrowaniu, dokonuje przeliczeń do wartości uzyskiwanych w normalnych warunkach klimatycznych.

### 3. Przebieg badań i uzyskane wyniki

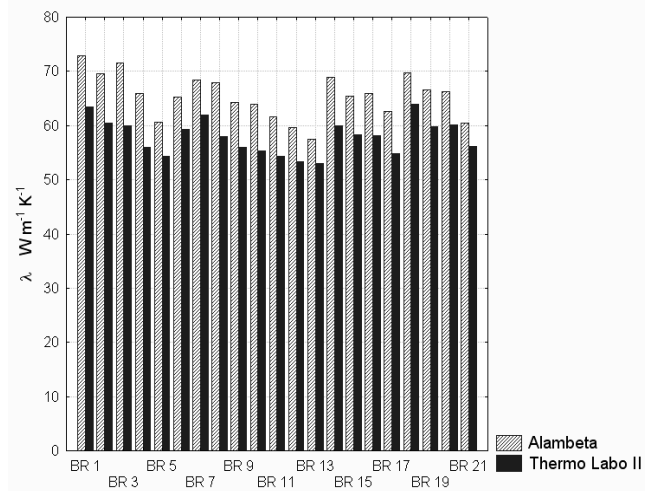
Celem badań była ocena właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych za pomocą nowoczesnych przyrządów pomiarowych. Obiektem badań były tkaniny bawełniane o pro-

gramowo zróżnicowanej strukturze. Zróżnicowanie struktury tkanin, a tym samym ich właściwości termoizolacyjnych, uzyskano poprzez zmianę: masy liniowej przędzy wątkowej, gęstości wątku oraz splotu tkaniny. Tkaniny – 21 wariantów - zostały poddane badaniom za pomocą: „modelu skóry”, Alambety, Thermo Labo II i Permetestu. W oparciu o uzyskane wyniki przeprowadzono analizę statystyczną, której celem była ocena zgodności wskazań przyrządów zastosowanych do badań.

We wszystkich przypadkach przewodność termiczna wyznaczona za pomocą Alambety była wyższa od przewodności termicznej wyznaczonej za pomocą Thermo Labo II (rys. 5). Nie stwierdzono natomiast silnej zależności korelacyjnej pomiędzy przewodnością termiczną wg Alambety i Thermo Labo II, a pozostałymi mierzonymi parametrami.



Rys. 4. Przewodność termiczna wg Alambety i Thermo Labo II  
Fig. 4. Thermal conductivity according to Alambeta and Thermo Labo II



Rys. 5. Porównanie wartości przewodności termicznej wg Alambety i Thermo Labo II  
Fig. 5. Comparison of thermal conductivity according to Alambeta and Thermo Labo II

W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy wybranymi parametrami wyznaczonymi za pomocą zastosowanych przyrządów. Pogrubioną czcionką zaznaczono przypadki, w których zależność korelacyjna jest statystycznie istotna przy poziomie istotności 0,95.

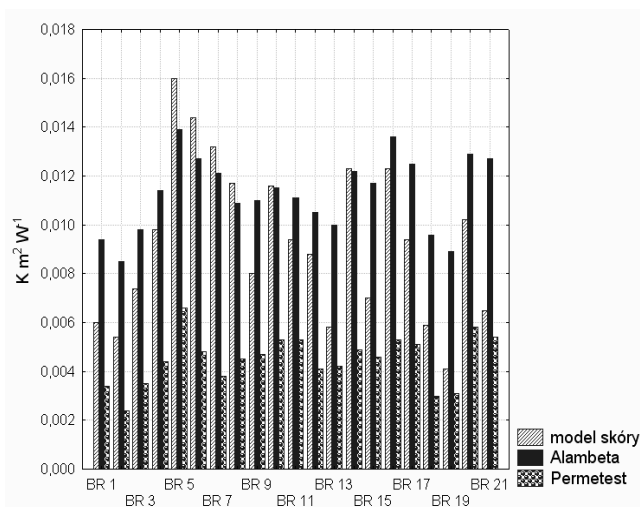
Tab. 1. Wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy wynikami otrzymanymi za pomocą „modelu skóry” (MS), Alambety (A), Thermo Labo II (TL) i Permetestu (P)

Tab. 1. The coefficient values of correlation between the results from „skin model”(MS), Alambeta (A), Thermo Labo II (TL) and Permetest (P)

$R_{xy}$	$a A$	$R A$	$q_{max} A$	$R_{ct} MS$	$q_{max} TL$	$R_{ct} P$
$a AI$	1,00	0,72	-0,72	0,72	-0,69	0,69
$R AI$		1,00	-0,84	0,78	-0,78	0,88
$q_{max} AI$			1,00	-0,50	0,87	-0,77
$R_{ct} MS$				1,00	-0,44	0,66
$q_{max} TL$					1,00	-0,71
$R_{ct} P$						1,00

Stwierdzono statystycznie istotną zależność korelacyjną pomiędzy wynikami pomiaru oporu cieplnego za pomocą „modelu skóry”, Alambety i Permetestu. Wartości oporu cieplnego wyznaczone za pomocą ww. metod różnią się między sobą (rys. 6).

W większości przypadków najwyższe wartości oporu cieplnego uzyskano za pomocą Alambety, natomiast najniższe – za pomocą Permetestu. Stwierdzone różnice wartości oporu cieplnego wg Alambety i Permetestu są uzasadnione. W każdym z przyrządów metoda wyznaczania oporu cieplnego jest inna. W Alambecie próbka jest ściśnięta pomiędzy dwiema płytami: górną - ciepłą i dolną – zimną. Powietrze w strukturze tkaniny zamknięte pomiędzy dwiema płytami przyrządu stanowi izolator termiczny, który zwiększa opór termiczny tkanin.



Rys. 6. Opór cieplny wg „modelu skóry”, Alambety i Permetestu  
Fig. 6. Thermal resistance according to „skin model”, Alambeta and Permetest

Z kolei w Permetescie próbka jest naciągnięta na płytę grzejną, nie jest natomiast dociśnięta od góry. Ruch powietrza równoległy do powierzchni próbki przyspiesza odprowadzanie ciepła z powierzchni tkaniny, a tym samym wartość oporu cieplnego rejestrowana w opisanych warunkach jest niższa od wartości oporu termicznego wyznaczonej za pomocą Alambety.

Należy nadmienić, że oczekiwano zgodności wartości oporu cieplnego otrzymywanych za pomocą „modelu skóry” i Permetestu, bowiem obie metody oparte są o podobne procedury pomiarowe. Uzyskane wyniki potwierdziły przytoczone wcześniej zastrzeżenia dotyczące „modelu skóry”. Opór termiczny wyznaczony za pomocą „modelu skóry” jest skorelowany z oporem ter-

micznym wyznaczonym za pomocą Alambety i Permetestu, jednakże wartość współczynników korelacji są niższe od wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy wynikami pomiaru oporu cieplnego za pomocą Alambety i Permetestu. Opór cieplny wg „modelu skóry” w niektórych przypadkach zbliżony jest do wartości uzyskanych za pomocą Alambety, w innych zaś – do wartości wyznaczonych za pomocą Permetestu (rys. 6).

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione pomiary za pomocą Alambety i Permetestu są pierwszymi badaniami wykonanymi w Instytucie Włókiennictwa za pomocą nowo zakupionych przyrządów. Uzyskane wyniki wskazują na prawidłowość działania obu przyrządów i zgodność ich wskazań z innymi przyrządami służącymi do pomiaru właściwości termoizolacyjnych materiałów włókienniczych. Badania będą kontynuowane. Niezbędne jest zwiększenie liczby prób oraz większe zróżnicowanie badanych materiałów pod względem ich struktury i właściwości termoizolacyjnych.

*Badania przedstawione w niniejszym referacie zostały wykonane w ramach projektu badawczego habilitacyjnego Nr N N507 280436 finansowanego ze środków na naukę w latach 2009 -2011.*

#### 5. Literatura

- [1] Polska Norma PE-EN 31092 : 1993, Tekstylnia. Wyznaczanie właściwości fizjologicznych. Pomiar oporu cieplnego i oporu pary wodnej w warunkach stanu ustalonego (metoda pocącej się zaizolowanej cieplnie płyty).
- [2] Hes L.: Alternative Methods of Determination of Water Vapour Resistance of Fabrics by Means of a Skin Model, 3rd European Conference on Protective Clothing and NOKOBETEF 8, Gdynia (2006).
- [3] Umbach K. H.: Product Labelling “Wear Comfort” at the Point of Sale, Melliand Textilberichte 85 (2004) nr 10, 802 – 805.
- [4] Internal Standard No. 23-204-02/01, Measurement of the thermal properties by Alambeta device, Technical University of Liberec (2001).
- [5] Miltky J., Matusiak M.: Complex Characterization of Cotton Fabric Thermo Physiological Comfort, 3rd International Textile, Clothing & Design Conference, Dubrovnik (2006).
- [6] Matusiak M.: Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles, Fibres & Textiles in Eastern Europe, 4 (2006).
- [7] Jasińska I., Frydrych I., Sybilska W.: Parametry termoizolacyjności cieplnej wyrobów typu Gore-tex. Cz. I. Przegląd Włókienniczy –WOS Nr 6 (2005).
- [8] Matusiak M.: Assessment of Thermal Insulation Properties of Fabrics by Means of Innovative Measurement Techniques - rozdział książki pt. “Innovative Materials and Technologies in Made-up Textile Articles and Footwear”, ISBN978-83-7283- 265-8 (2008).
- [9] Matusiak M., Sikorski K., Andrysiak J., Plac M.: Investigation of the thermal insulation properties of textiles by means of Thermo Labo II, Autex,2009, Izmir (2009).
- [10] Hes L., Sluka P.: Uvod do komfortu textili, Technical University of Liberec, Liberec (2005).

otrzymano / received: 17.05.2010  
przyjęto do druku / accepted: 02.07.2010

artykuł recenzowany